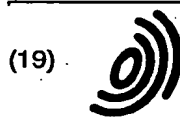


AD



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 957 026 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
17.11.1999 Patentblatt 1999/46

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: B64D 41/00

(21) Anmeldenummer: 99108030.0

(22) Anmeldetag: 23.04.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: Graage, Klaus  
73230 Kirchheim (DE)

(74) Vertreter:  
Kocher, Klaus-Peter Dipl.-Phys et al  
Daimler-Benz Aktiengesellschaft  
Intellectual Property Management  
FTP-C 106  
70546 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: 15.05.1998 DE 19821952

(71) Anmelder:  
DBB Fuel Cell Engines GmbH  
73230 Kirchheim/Teck-Nabern (DE)

(54) **Energieversorgungseinheit an Bord eines Luftfahrzeugs**

(57) Die Erfindung betrifft eine Energieversorgungseinheit an Bord eines Luftfahrzeugs, die als Energiewandler eine Brennstoffzelle (1) zur Erzeugung von

Gleichstrom umfaßt.

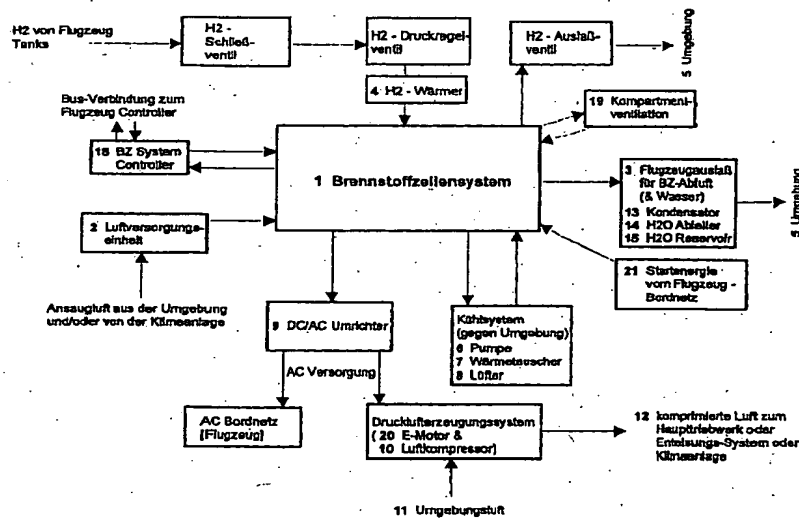


Fig. 1

EP 0 957 026 A2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Energieversorgungseinheit an Bord eines Luftfahrzeugs, insbesondere eines Passagierflugzeugs.

[0002] An Bord eines Passagierflugzeugs bestehen üblicherweise folgende Möglichkeiten zur Energieversorgung:

### Haupttriebwerksgenerator

[0003] Die Haupttriebwerke eines Flugzeuges dienen in erster Linie zur Schuberzeugung für den Vortrieb des Flugzeugs. Des weiteren liefern sie Druckluft für die Klimaanlage und überein Getriebe Leistung für einen Stromgenerator. Dieser liefert Strom für das Bordnetz des Flugzeugs. Die Triebwerke werden vom Kraftstoffsystem des Flugzeugs mit Treibstoff versorgt.

### Auxiliary Power Unit (APU)

[0004] In Flugzeugen befindet sich zum Zwecke der Bordstromversorgung, Luftversorgung der Klimaanlage und zum Triebwerksstart eine Gasturbine im Heck des Flugzeuges: die Auxiliary Power Unit APU. Sie wird sowohl am Boden als auch während des Fluges (z.B. bei Start/Landung oder Notsituationen) eingesetzt. Die APU wird vom Kraftstoffsystem des Flugzeugs mit Teibstoff versorgt. Neben der Erzeugung von Druckluft für Klimaanlage und Triebwerkstart per integriertem Kompressor, treibt die APU einen Generator zur Stromerzeugung an.

### Ram Air Turbine (RAT)

[0005] im Rumpf eines Flugzeuges befindet sich eine in die Rumpfumströmung ausfahrbare Luftturbine, die im Notfall (Ausfall des Bordhydrauliksystems) mittels einer angekoppelten Hydraulikpumpe ein Hydrauliksystem des Flugzeuges versorgt, das für Notlandungen ausreichend dimensioniert ist. Diese RAT wird durchschnittlich 1-3 mal pro Flugzeubleben (25 Jahre) benötigt/ausgefahren. Ihre Zuverlässigkeit ist wegen der Abhängigkeit von der aerodynamischen Rumpfumströmung z. Zt. etwas problematisch.

### NiCd-Batterie

[0006] In Flugzeugen befindet sich zum Zwecke der Bordstromversorgung ein NiCd Batteriepacket. Dieses dient bei der Flugzeuginbetriebnahme der ersten autarken Stromversorgung an Bord.

### Druckluft zum Antrieb einer Kompressor/Expander-Einheit für die Luftkonditionierung innerhalb der Bord-Klimaanlage

[0007] In Flugzeugen befindet sich zum Zwecke der

Klimatisierung eine Klimaanlage, die während der gesamten Flug- und Bodenstandzeiten angeschaltet ist. Diese wird mit heißer Druckluft aus den Triebwerken oder aus dem Hilfstriebwerk (APU) versorgt. Die Konditionierung erfolgt über Kühlung mit externer Luft, einer Kompressor/Expander-Einheit und einer Wassereextraktions-Einheit. Energiequelle für den Betrieb der Kompressor/Expander-Einheit ist die vom Triebwerk oder Hilfstriebwerk kommende Druckluft.

[0008] Aus der DE 40 01 684 A1 ist ein Hybridsystem zum Antrieb eines Fahrzeugs beschrieben, das neben einem Akkumulator eine Brennstoffzelle als Energieversorgungseinheit umfaßt.

[0009] Die DE 38 32 471 A1 offenbart ein Brennstoffzellensystem mit frei beweglichem Elektrolyten, das für den Einsatz im schwerelosenraum Raum, beispielsweise in der Raumfahrt, ausgelegt ist.

[0010] Der Einsatz von Brennstoffzellen in der Luftfahrt ist aus der DE 196 00 936 A1 sowie der DE 40 09 772 A1 bereits bekannt. In beiden Fällen dient die mit der Brennstoffzelle erzeugte elektrische Energie zum Antrieb des Luftfahrzeugs. Angaben zum konkreten Aufbau des Brennstoffzellensystems und dessen Integration in das Luftfahrzeug sind darin jedoch nicht offenbart.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Energieversorgungseinheit für den Einsatz in einem Luftfahrzeug zu schaffen, der gegenüber den in der Beschreibungseinleitung erwähnten konventionellen Systemen einen verbesserten Wirkungsgrad bei reduzierten Schadstoff- und Lärmemissionen aufweist.

[0012] Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausbildungen der Erfindungen sind Gegenstand weiterer Ansprüche.

[0013] Die erfindungsgemäße Energieversorgungseinheit umfaßt als Energiewandler eine Brennstoffzelle zur Erzeugung von Gleichstrom.

[0014] Als Brennstoffzelle wird insbesondere eine PEM-Brennstoffzelle (PEM Proton Exchange Membrane) eingesetzt.

[0015] Als Kraftstoff für die Brennstoffzelle kann ein Kohlenwasserstoff eingesetzt werden, der in einem Reformer zu Wasserstoff umgesetzt wird. Möglich ist aber auch, Wasserstoff in einem Behälter im Flugzeug mitzuführen und der Brennstoffzelle direkt zuzuführen. Diese zweite Möglichkeit bietet sich insbesondere in einem z. Zt. von der Firma Airbus projektierten Wasserstoffflugzeug an, bei dem Wasserstoff ohnehin im Flugzeug gespeichert ist.

[0016] Vorteile der Erfindung, insbesondere gegenüber den Gasgeneratoren als Energiewandler:

- keine oder nur geringe Schadstoffemissionen,
- geringere Lärmentwicklung,
- höherer Wirkungsgrad,
- geringere Systemkosten,
- geringerer Verschleiß und damit geringere Wartungsaufwand.

[0017] Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von einzelnen Ausführungsbeispielen.

[0018] Die Erfindung eignet sich für alle Arten von Luftfahrzeugen, insbesondere jedoch Passagierflugzeuge und Großraumpassagierflugzeuge.

[0019] Vorteilhafte Ausbildungen der erfindungsgemäßen Energieversorgungseinheit an Bord von Flugzeugen sind insbesondere:

#### Haupttriebwerksgenerator

[0020] Der bisher eingesetzte Gasgenerator (Energie wandlung: Strom aus Treibstoff) wird durch eine PEM-Brennstoffzelle substituiert.

Als Kraftstoffe sind sowohl ein Kohlenwasserstoff (Umsetzung per Reformier zu Wasserstoff in einem Gaserzeugungssystem) als auch Wasserstoff möglich. Die benötigte Luft wird aus dem Triebwerk oder der Kabinenabluft entnommen.

[0021] Der in der Brennstoffzelle produzierte Gleichstrom wird mittels Umrichter in Wechselstrom mit der im Flugzeug üblicherweise verwendeten Spannungslage (110V) gewandelt und der Bordstromanlage zur Verfügung gestellt.

[0022] Durch den Ersatz der Gasgeneratoren durch Brennstoffzellen wird der Bordstrom mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad erzeugt, da

1. der Kraftstoff direkt in Strom umgesetzt wird und
2. der Wirkungsgrad von Gasturbinen relativ schlecht ist.

[0023] Dies führt zu geringerem Treibstoffverbrauch und damit zu möglichen Gewichtseinsparungen beim mitzuführenden Treibstoff sowie zu geringeren Emissionen.

#### Auxiliary Power Unit (APU)

[0024] Der bisher eingesetzte Gasgenerator (Energie wandlung: Druckluft und Strom aus Treibstoff) wird durch eine PEM-Brennstoffzelle substituiert. Als Kraftstoffe sind sowohl ein Kohlenwasserstoff (Umsetzung per Reformier zu Wasserstoff in einem Gaserzeugungssystem) als auch Wasserstoff möglich.

[0025] Ein Teil des in der Fuel Cell Engine produzierten Gleichstromes wird mittels Umrichter in Wechselstrom mit der im Flugzeug üblicherweise verwendeten Spannungslage (110 V) gewandelt und der Bordstromanlage zur Verfügung gestellt.

[0026] Ein zweiter Teil wird entweder als DC oder per Umrichter als AC einem Elektromotor zur Verfügung gestellt, der wiederum einen Kompressor antreibt. Die benötigte Luft wird der Kabinenabluft (ca. 0,7 bar) entnommen. Der Kompressor liefert benötigte Druckluft für Klimaanlage und Triebwerk.

[0027] Durch den Ersatz der Gasgeneratoren durch

Brennstoffzellen wird der Bordstrom mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad erzeugt, da

1. der Kraftstoff direkt in Strom umgesetzt wird und
2. der Wirkungsgrad von Gasturbinen relativ schlecht ist.

[0028] Dies führt zu geringerem Treibstoffverbrauch und damit zu möglichen Gewichtseinsparungen beim mitzuführenden Treibstoff sowie zu geringeren Emissionen.

#### Ram Air Turbine (RAT)

[0029] Dieser Energiewandler (Energiewandlung: aerodynamische Leistung aus Außenumströmung) wird durch einen PEM-Brennstoffzellenantrieb substituiert. Als Kraftstoffe sind sowohl ein Kohlenwasserstoff (Umsetzung per Reformier zu Wasserstoff im Gaserzeugungssystem) als auch Wasserstoff möglich. Die benötigte Luft wird aus der Kabinenabluft entnommen.

[0030] Der in der Brennstoffzelle produzierte Gleichstrom wird mittels Umrichter in Wechselstrom mit der im Flugzeug üblicherweise verwendeten Spannungslage (110 V) gewandelt und betreibt dann eine Hydraulikpumpe und/oder versorgt die Bordstromanlage.

[0031] Durch den Ersatz der RAT durch Brennstoffzellen wird Hydraulikenergie bzw. Bordstrom betriebssicherer erzeugt. Daneben könnte dieses System auch evtl. auftretende Bedarfsspitzenpeaks bei der Bordstromversorgung mit abdecken helfen und somit ein weiteres, unabhängiges System zur Bordstromerzeugung darstellen.

#### NiCd-Batterie

[0032] Dieser Energiewandler (Strom aus chemisch gespeicherter Energie) wird durch eine PEM-Brennstoffzelle substituiert.

Als Kraftstoffe sind sowohl ein Kohlenwasserstoff (Umsetzung per Reformier zu Wasserstoff im Gaserzeugungssystem) als auch Wasserstoff möglich.

[0033] Der in der Brennstoffzelle produzierte Gleichstrom wird mittels Umrichter in Wechselstrom mit der im Flugzeug üblicherweise verwendeten Spannungslage (110 V) gewandelt und der Bordstromanlage zur Verfügung gestellt.

[0034] Durch den Ersatz der Batterien durch Brennstoffzellen wird der Bordstrom mit einem hohen Wirkungsgrad erzeugt und es gibt keinen Nachladebedarf für die Batterien mehr, so daß die Verfügbarkeit dieses Energieerzeugers erhöht wird.

#### Antrieb einer Kompressor/Expander-Einheit für die Luftkonditionierung innerhalb der Bord-Klimaanlage

[0035] Die benötigte Antriebsenergie für die Klimaanlage

lage (Druckluft, die per Gasturbine erzeugt wurde und einen Komplex antreibt) wird erfindungsgemäß mittels einer PEM-Brennstoffzelle erzeugt. Als Kraftstoffe sind sowohl ein Kohlenwasserstoff (Umsetzung per Reform-  
 5 er zu Wasserstoff in einem Gaserzeugungssystem) als auch Wasserstoff möglich.

[0036] Die gewonnene elektrische Energie wird entweder als DC oder per Umrichter als AC einem Elektromotor zur Verfügung gestellt, der wiederum den in der Klimaanlage genutzten Kompressor antreibt. Die zum Betrieb der Brennstoffzelle benötigte Luft wird der Kabinenabluft (ca. 0,7 bar) entnommen. Die benötigte Frischluft kann mittels Kompressor der Außenluft entnommen werden, z.B. über eine separate Leitung und einen Einlaß in der Bordaußenhaut). Der Kompressor liefert dann die Druckluft für die Klimaanlage.,

[0037] Ein Teil des in der Brennstoffzelle produzierten Gleichstromes kann evtl. in Notfällen mittels Umrichter in Wechselstrom mit der im Flugzeug üblicherweise verwendeten Spannungslage (110 V) gewandelt und der Bordstromanlage zur Verfügung gestellt werden. Durch die Lieferung der Energie für die Klimaanlage mittels Brennstoffzellen wird die Energie vor Ort mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad erzeugt als per APU oder Haupttriebwerk, da

1. der Wirkungsgrad von Gasturbinen relativ schlecht und der FCE Wirkungsgrad sehr gut ist.
2. die Energieumwandlungskette nun wesentlich einfacher ist.

[0038] Dies führt zu einem geringeren Treibstoffverbrauch und damit zu möglichen Gewichtseinsparungen beim mitzuführenden Treibstoff sowie zu geringeren Emissionen.

#### **Selbständiger Notsender (Emergency Locator Transmitter ELT)**

[0039] In Flugzeugen befindet sich zum Zwecke des Auffindens eines Flugkörpers nach einem Notfall ein batteriegetriebener ELT. Um die Einsatzdauer dieses Systems zu verlängern (Funkzeit), kann ein Brennstoffzellensystem inklusive Tanksystem und Luftversorgung eingesetzt werden.

[0040] Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1,2 eine erfindungsgemäße Energieversorgungseinheit, ausgebildet als Auxiliary Power Unit (APU) in verschiedenen Darstellungen;

Fig. 3 eine weitere erfindungsgemäße Energieversorgungseinheit, ausgebildet als Haupttriebwerksgenerator.

[0041] Die Fig. 1 und 2 zeigen jeweils eine Auxiliary

Power Unit als Beispiel für eine erfindungsgemäße Energieversorgungseinheit. Dabei ist in Fig. 1 das Zusammenwirken der beteiligten Komponenten in mehr schematischer Darstellung dargestellt, während Fig. 2 eine konkrete Ausführung einer in die Heckspitze eines Passagierflugzeugs integrierten Auxiliary Power Unit zeigt. Die Form der in Fig. 2 gezeigten Heckspitze entspricht im wesentlichen der Heckspitze eines Airbus A320.

[0042] Die Brennstoffzelle besteht im wesentlichen aus einer PEM-Brennstoffzelle, die mit hohem Wirkungsgrad Gleichstrom produziert. Dazu werden auf beiden Seiten einer Membran die Reaktionsgase Wasserstoff und Luft zugeführt. Die entstehende Reaktionswärme wird bei einem Temperaturniveau von etwa 80°C mittels eines flüssigen Kühlmediums abgeführt. Für die fluide Ver- und Entsorgung der Brennstoffzelle sind drei verfahrenstechnische Strecken (Luft, Wasserstoff, Kühlmedium) innerhalb des Brennstoffzellensystems realisiert.

[0043] Folgende fluide, mechanische oder elektrische Verknüpfungspunkte werden zwischen Flugzeug und Brennstoffzelle realisiert:

25 1. Luft

[0044] In der in Fig. 2 gezeigten Ausführung sind zwei Brennstoffzellenmodule 1 vorhanden, die jeweils einen Brennstoffzellenstack und Systemperipherie umfassen. Jedem Brennstoffzellenmodul vorgeschaltet ist eine Luftversorgungseinheit 2. Diese umfaßt insbesondere eine Kompressor/Expandereinheit zur Kompression der der Brennstoffzelle zuzuführenden Luft sowie zur Energierückgewinnung aus der aus der Brennstoffzelle austretenden, erwärmten Luft, einen Luftfilter und einen Schalldämpfer. Die Luftversorgungseinheit 2 wird über einen Filter 26 aus der Abluft der Bordklimaanlage oder über eine Einströmungsöffnung in der Flugzeugaußenhaut versorgt. Die Luftentsorgung erfolgt über einen am Flugzeugheck vorhandenen Luftauslaßeinheit 3.

Zur Versorgung der flugzeugeigenen Wasseranlage (z.B. für Küche, Toiletten, usw.) könnten Wasser aus dem feuchten, warmen Abluftstrom der Brennstoffzellen 1 gewonnen werden. Dazu wird ein mit der Flugzeug-Umgebungsluft gekühlter Wasser-Kondensator 13 (Fig. 1) in den Abluftstrom geschaltet. Dieser fällt durch eine Temperaturabsenkung der feuchten Luft Wasser aus, das mittels Kondensatableiter 14 einem Wasserreservoir 15 zugeführt wird.

50 2. Wasserstoff

[0045] Die Wasserstoffversorgung der Brennstoffzelle 1 erfolgt gasförmig aus mitgeführten Behältern und wird unter Einsatz von Brennstoffzellenabwärme im Wasserstoffwärmer 4 auf Brennstoffzellentemperatur erwärmt. Bei zukünftigen Flugzeugantrieben, die Wasserstoff als Brennstoff verwenden, kann der für die Brennstoffzelle

benötigte Wasserstoff direkt aus den Wasserstofftanks des Flugzeugs entnommen werden.

Die Abfuhr des aus der Brennstoffzelle austretenden Wasserstoffs erfolgt mittels eines Auslaßrohrs 5 von der Brennstoffzelle 1 zur Flugzeugaußenhaut.

3. Kühlmedium Die Abwärme 23 der Brennstoffzelle 1 wird über ein in dem Brennstoffzellenmodul 1 befindlichen Wärmetauscher über eine flugzeugseitige Pumpe 6 (Fig. 1) zu einem flugzeugseitigen weiteren Wärmetauscher 7 mit integriertem Lüfter 8 an die Flugzeugumgebung abgegeben.

#### 4. Wechselstrom-Erzeugung

[0046] Die von der Brennstoffzelle 1 gelieferte Gleichspannung wird mittels Umrichter 9 auf die im Bordnetz des Flugzeugs benötigten Wechselspannungen (ca. 110 V AC) konvertiert. Über den Umrichter 9 kann außerdem der Elektromotor 20 versorgt werden. Dieser treibt in der gezeigten Ausführung den Druckluftkompressor 10 an. Dessen Funktion wird unter Ziff. 6 näher erläutert.

[0047] Mit den heute verfügbaren Brennstoffzellen liefert jede der beiden Brennstoffzellenmodule 1 etwa 60 kW bei 200 V. Somit können ca. 120 kW Gleichstrom-Leistung an den Gleichstrom-Zwischenkreis abgegeben werden. Zum Vergleich: Der im Airbus A320 derzeit eingesetzte konventionelle APU-Generator liefert ca. 100 kW.

#### 5. Starten der Brennstoffzelle

[0048] Zum Starten 21 der Brennstoffzelle wird über das Flugzeugbordnetz der brennstoffzelleninterne Startmotor versorgt, der die Brennstoffzelle innerhalb von ca. 1 Sekunde startet.

#### 6. Druckluftkompression

[0049] Der oben bereits erwähnte Druckluftkompressor 10 liefert Druckluft, z.B. für die Flugzeug-Klimaanlage. Hierbei wird mit der Druckluft der Kompressor einer Kompressor/Expander-Einheit für die Luftkonditionierung innerhalb der FlugzeugKlimaanlage angetrieben. Weitere Aufgaben für die vom Kompressor 10 erzeugte Druckluft sind insbesondere Triebwerksstart und Enteisierung. Der Elektroantrieb 20, mit dem der Kompressor 10 über eine Welle direkt verbunden ist, benötigt ca. 120-150 kW elektrische Leistung aus der Brennstoffzelle 1. Der Elektroantrieb 9 kann mit einem flüssigen Medium gekühlt werden. Die Luftzufuhr des Kompressors 10 erfolgt aus der Flugzeugumgebungs-luft 11, und zwar über eine Einströmungsöffnung in der Flugzeugaußenhaut. Die komprimierte und erwärmte Luft wird an die im Flugzeug vorhandene Druckluftleitung 12 abgegeben, die sie zu dem entsprechenden Verbraucher führt.

Beim konventionellen APU-Generator des Airbus A320 wird am Boden derzeit ein Luftstrom von ca. 1 kg/s bei 2,5 bar und bei 15 °C Umgebungstemperatur vom Druckluftkompressor gefördert.

#### 7. Brennstoffzellensteuerung

[0050] Die Regelung und Steuerung der Brennstoffzelle 1 erfolgt über ein eigenes Brennstoffzellen-Steuergerät 18 (Fig. 1), das mittels Flugzeug-Bus-System mit dem Rechner des Flugzeugs verbunden ist und über das Bordnetz des Flugzeugs versorgt wird.

#### 8. Compartment-Ventilation

[0051] Um bei einem Fehlerfall die Ansammlung von Wasserstoff in der Heckspitze sowie in den Brennstoffzellenmodulen 1 zu vermeiden, wird eine Compartment-Ventilation 19 eingebaut, die einen definierten Luftstrom durch den gesamten Raumbereich der Heckspitze (der durch die Wandung 25 begrenzt wird) und durch die Brennstoffzellenmodule 1 zieht.

[0052] Der erfindungsgemäße Einsatz einer Brennstoffzelle in einer APU für ein Luftfahrzeug hat folgende Vorteile:

- keine Schadstoffemissionen, was insbesondere bei Vorfeld- oder Turnaroundpositionen des Flugzeugs von Bedeutung ist.
- deutlich weniger Lärmentwicklung im Vergleich mit einer Gasturbine.
- höherer Wirkungsgrad (>40 % für das Brennstoffzellensystem, ca. 18% für die gesamte APU), daraus folgt ein geringerer Kraftstoffbedarf und damit eine mögliche Gewichtssparnis.
- eine Erzeugung von Wasser an Bord für Küche, WC und Klimaanlage (Befeuchtung der Luft) ist möglich.
- wesentlich geringere Systemkosten als konventionelle APU (ca. 1000\$/kW) sind möglich.
- geringerer Verschleiß und Wartungsaufwand durch niedrige Arbeitstemperatur (80 °C) und weniger mechanisch bewegte Teile (konventionelle APU: > 1000 °C an heißester Stelle).

[0053] Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführung der Erfindung, bei der der Haupttriebwerksgenerator eines Flugzeugs durch eine Brennstoffzelle ersetzt ist. Dargestellt ist das Flugzeughaupttriebwerk 30 mit Gebläse 31 und Brennkammer 32. Innerhalb des Treibwerks befindet sich die Brennstoffzelle zur Erzeugung von elektrischem Gleichstrom. Der Brennstoffzelle 35 vorgeschaltet ist die Luftversorgungseinheit 2. Die von der

Brennstoffzelle gelieferte Gleichspannung wird mittels Umrichter 39 auf die im Bordnetz des Flugzeug benötigten Wechselspannungen (ca. 110 V AC) konvertiert.

[0054] Das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem produziert dann 110 V Wechselstrom mit einer Frequenz von 400 Hz für das Flugzeug-Bordnetz unabhängig von der Funktion des Haupttriebwerks des Flugzeugs. Somit steht eine weitere unabhängige Stromquelle an Bord des Flugzeugs zur Verfügung.

[0055] Die Luftversorgung der Brennstoffzelle erfolgt wahlweise mit Luft aus der Ansaugöffnung des Triebwerks oder aus der Druckstufe des Triebwerks. Die Abluft aus der Brennstoffzelle 35 wird über den Auslaß des Triebwerks abgeführt.

[0056] Die Abwärme 23 der Brennstoffzelle 35 wird ebenso wie der aus der Brennstoffzelle austretende Wasserstoff an die Flugzeugumgebung 5 abgegeben.

[0057] Die Wasserstoffversorgung erfolgt aus im Luftfahrzeug mitgeführten Behältern/Tanks. Hinsichtlich Kühlung, Starten und Steuerung der Brennstoffzelle können die oben im Zusammenhang mit Fig. 1 und Fig. 2 beschriebenen Maßnahmen Anwendung finden. Wie bei den in Fig. 1 und Fig. 2 beschriebenen Systemen kann aus dem Abluftstrom der Brennstoffzelle Wasser für die Wasservorsorgung des Luftfahrzeugs gewonnen werden. Zur Vermeidung der Ansammlung von Wasserstoff kann eine Compartment-Ventilation vorhanden sein.

#### Patentansprüche

1. Energieversorgungseinheit an Bord eines Luftfahrzeugs zur Substitution eines Haupttriebwerksgenerators, einer Auxiliary Power Unit, einer Ram Air Turbine oder einer NiCd-Batterie, gekennzeichnet durch

- eine Brennstoffzelle (1) zur Erzeugung von Gleichstrom; wobei zur Luftversorgung der Brennstoffzelle (1) Abluft der Luftfahrzeug-Klimaanlage oder Luftfahrzeugaußenluft eingesetzt wird; und
- aus der Brennstoffzellenabluft Wasser für die Wasservorsorgung des Luftfahrzeugs gewonnen wird, wobei die Brennstoffzellenabluft anschließend an die Luftfahrzeugumgebung (5) abgeführt wird; und
- der aus der Brennstoffzelle (1) austretende Wasserstoff an die Luftfahrzeugumgebung (5) abgeführt wird.

2. Energieversorgungseinheit nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Umrichter (9), mit dem der von der Brennstoffzelle (1) gelieferte Gleichstrom in Wechselstrom gewandelt wird.

3. Energieversorgungseinheit nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß

der mittels der Brennstoffzelle (1) gewonnene Strom für das Bordnetz des Luftfahrzeugs oder für das Funkmodul eines selbständigen Notsenders eingesetzt wird.

4. Energieversorgungseinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch einen mit der Wechselstromseite des Umrichters (9) verbundenen Elektroantrieb (20).

5. Energieversorgungseinheit nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektroantrieb (20) einen Druckluftkompressor (10) oder eine Hydraulikpumpe antreibt.

6. Energieversorgungseinheit nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckluftkompressor (10) Druckluft für die Klimaanlage des Luftfahrzeugs oder für den Start des Luftfahrzeugtriebwerks oder für die Luftfahrzeugenteisung liefert.

7. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzelle (35) mit Umgebungsluft aus der Ansaugöffnung des Luftfahrzeugtriebwerks (30) oder aus der Druckstufe des Luftfahrzeugtriebwerks (30) versorgt wird.

8. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzellenabluft über den Auslaß des Luftfahrzeugtriebwerks (30) an die Luftfahrzeugumgebung (5) abgeführt wird.

9. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzelle (1) aus im Luftfahrzeug mitgeführten Behältern mit Wasserstoff versorgt wird.

10. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der der Brennstoffzelle (1) zugeführte Wasserstoff mittels der Abwärme der Brennstoffzelle (1) auf Brennstoffzellentemperatur erwärmt wird.

11. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der der Brennstoffzelle (1) zugeführte Wasserstoff über eine Wasserstoff-Erzeugungseinheit an Bord des Luftfahrzeugs erzeugt wird.

12. Energieversorgungseinheit nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wasserstoff-Erzeugungseinheit ein Reformier zur Erzeugung von Wasserstoff aus Kohlenwasserstoffen ist.

13. Energieversorgungseinheit nach einem der voran-

gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum Starten der Brennstoffzelle (1) ein Brennstoffzellenstartmotor vorhanden ist, der über das Bordnetz des Luftfahrzeugs versorgt wird.

14. Energieversorgungseinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzelle (1) eine PEM-Brennstoffzelle ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

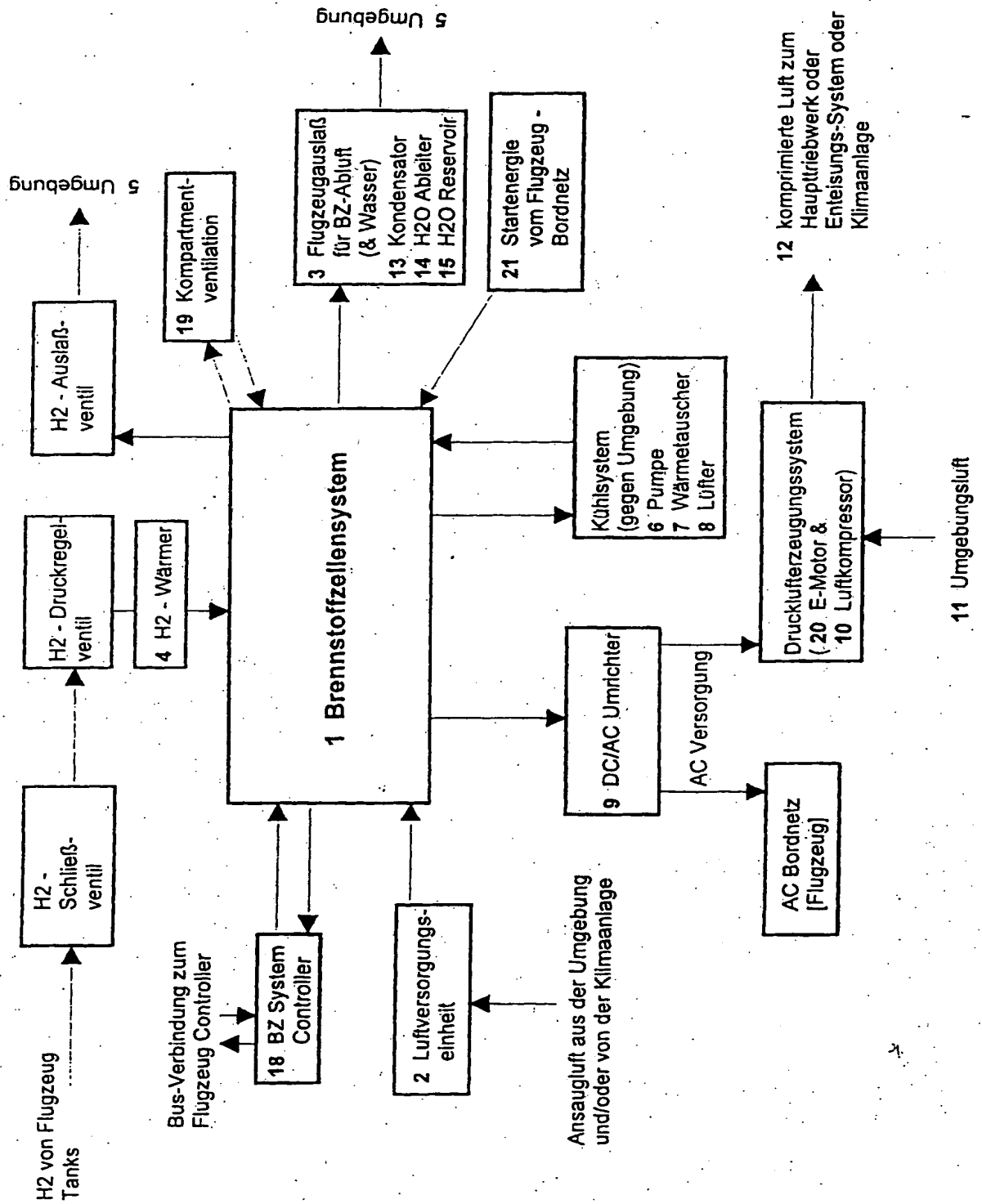
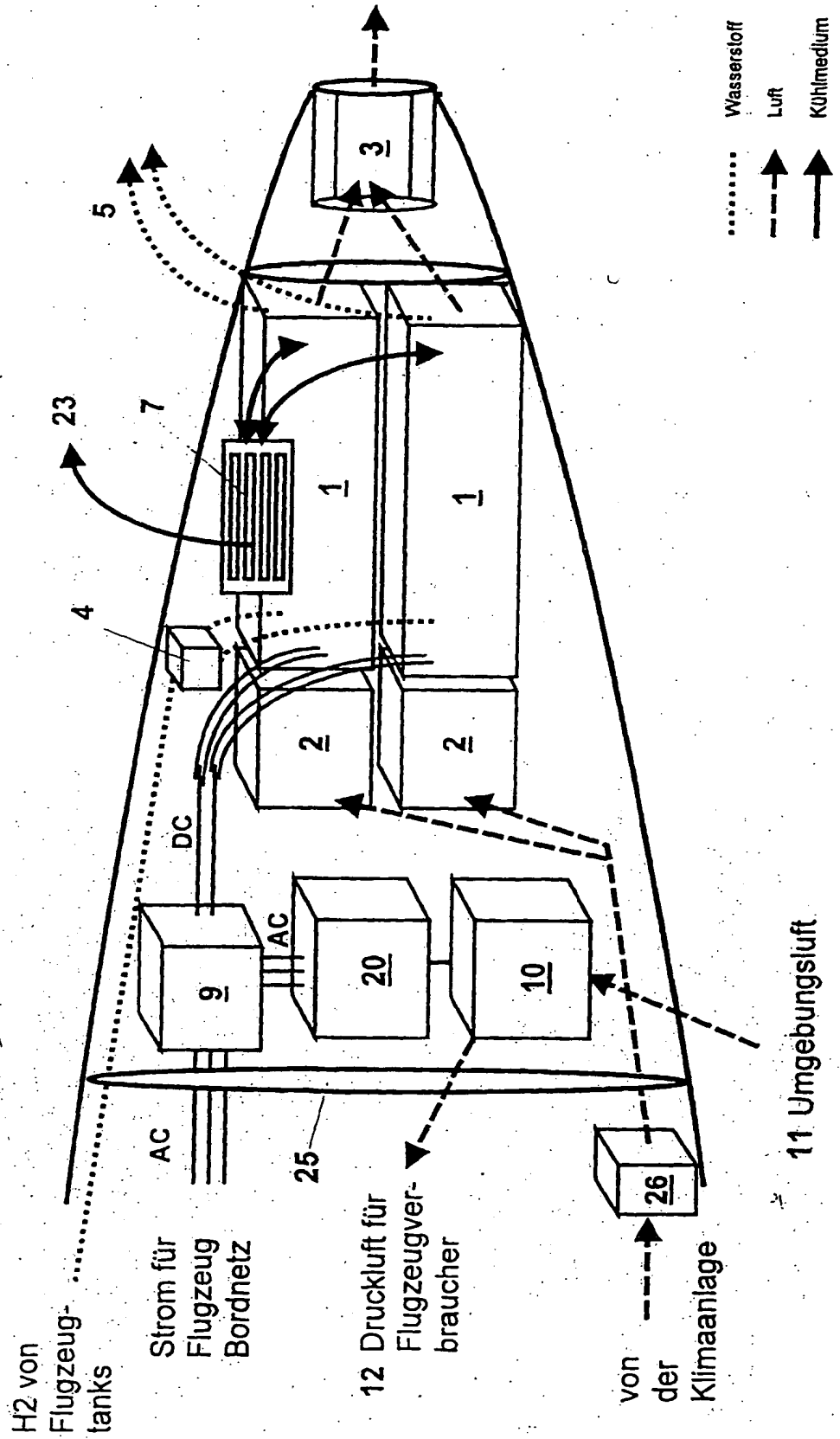
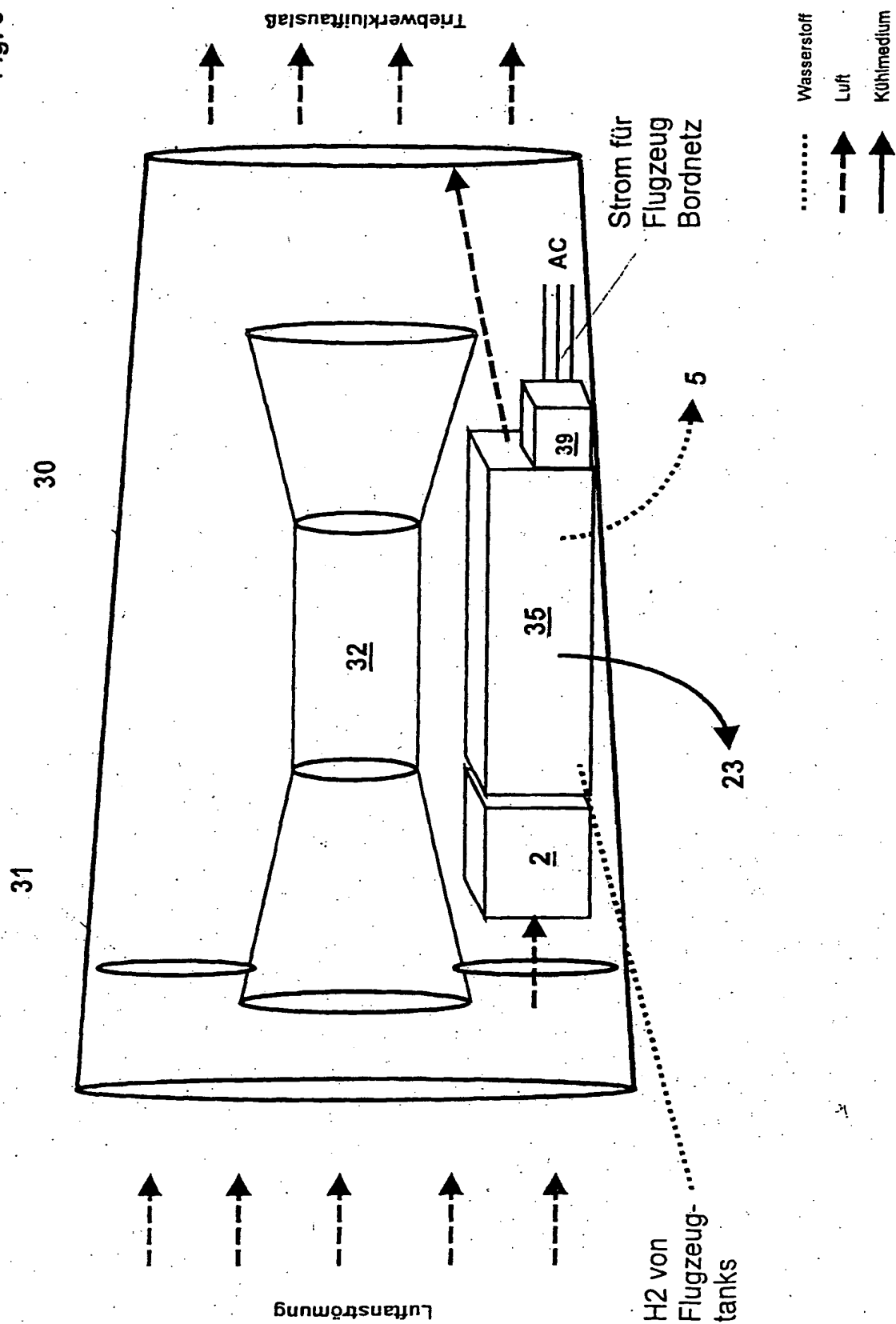




Fig. 2



**Fig. 3**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**